

2018.11.01

## 災害リスク情報<第 85 号>

### 静電気放電による火災への対策について

#### 【要旨】

- 静電気の性質について述べ、静電気放電が発生した場合に着火現象に至る危険性を解説した。
- 静電気放電による火災対策の進め方について、帯電防止と可燃性雰囲気形成防止に分けて述べた。
- 近年発生した静電気放電による事故事例をあげ、同様の事故が発生する可能性および対策について解説した。

#### はじめに

これからの季節、冬に向かって気温が下がり空気が乾燥する時候になると、静電気によって衣類が体に貼りついて煩わしさを感じたり、車のドアノブと手の指先で放電が発生し思わず手を引きたくなるような痛みを感じたりすることが多くなる。

静電気による放電は、周りに燃えやすいものがあると着火し、火災の原因になると言われている。ここでは、静電気放電の性質について考察し、危険物や可燃物が多く扱われている現場などで起こりやすいケースを例にとり、火災の対策について述べる。

#### 1. 静電気発生メカニズム

静電気は、物体の摩擦、流動、粉碎、噴霧などによって発生し、偏在したり蓄積したりする電荷や電荷によって引き起こされる現象をいう。良導電体のように電荷が移動しやすい物体の場合には、部分的に電荷の偏りが発生しても短時間のうちに偏りが緩和される。一方、電荷が移動しにくい絶縁体の場合、電荷の偏りが保持され易いため電気エネルギーとして蓄積されることとなる。絶縁性の高い樹脂などは、摩擦による静電気が発生しやすいとされている。

物体が電荷をもつことを帯電というが、固体や液体の場合、帯電の形態は表面帯電と体積帯電に分けられる。絶縁性の高い液体などの場合、内部で正と負に極性が分かれて帯電し、一方の極性の部分が流出することによって残された極性の電荷が蓄積される現象が起きる。また、帯電した液体を別の容器に移すことでも電荷が蓄積されることが考えられる。固体では、正と負の電荷を保持していた部分が分裂し、断片に同じ極性の電荷が偏在する場合がある。静電気の帯電の主な種類と発生例をまとめると表1のようになる。

表1 静電気の帯電の種類と発生例

静電気による帯電の種類	帯電発生例
①摩擦による帯電	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人体と衣服の摩擦によって帯電する</li> <li>・人が床を歩く時の床との摩擦によって帯電する</li> </ul>
②流動による帯電	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管の内部で中心部と外側の電荷の差が生じ、中心部分の流量が多くなることによって電荷が蓄積され帯電する</li> <li>・液体を容器から容器に移し替える際に帯電する</li> </ul>
③粉碎による帯電	<ul style="list-style-type: none"> <li>・粉碎によって電荷の極性のバランスが崩れて帯電する</li> <li>・紛体が空気搬送時に細かく分裂し、電荷のバランスが崩れて帯電する</li> </ul>
④噴霧による帯電	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液体が噴霧器の管と反対の極性に帯電した状態で空気中に放出される</li> </ul>

摩擦による帯電は、正の電荷（+）に帯電しやすいものと負の電荷（-）に帯電しやすいものが経験的に知られており、摩擦帯電系列としてまとめられている。表2に摩擦帯電系列の例を示す。異なる極性の電荷が生じるものをこすり合わせると、強い力で引き合うなど電氣的に及ぼされる影響は大きなものとなる。

表2 摩擦帯電系列の例

正の電荷（+）	負の電荷（-）
人毛・毛皮	セロファン
ガラス	セルロイド
雲母	塩化ビニール
羊毛	セルロイド
ナイロン	ポリエステル
レーヨン	アクリル

以上のように、静電気は普段使用されるものの取り扱いによって発生するため、全く発生しない状態をつくることは困難である。静電気が発生するメカニズムを理解し、発生や蓄積を抑制することが課題となる。

## 2. 静電気放電による着火現象

静電気は、物体の中に蓄積されたままの状態であれば、周囲に与える影響は小さい。しかしながら、局部的に電荷が集中した状態になると、条件によっては絶縁破壊現象をおこし、近づいてきた物体に放電して電荷の偏りを緩和する現象が発生する。これは静電気放電（ESD：Electro-Static Discharge）と呼ばれ、周囲の状況や静電気放電のエネルギーの大きさによっては着火性を帯び、火災や爆発の原因となる。

静電気放電が発生した際に、その周囲が可燃物と支燃物が混合した可燃性雰囲気（爆発性混合気）になっていると火災や爆発に至る可能性がある。

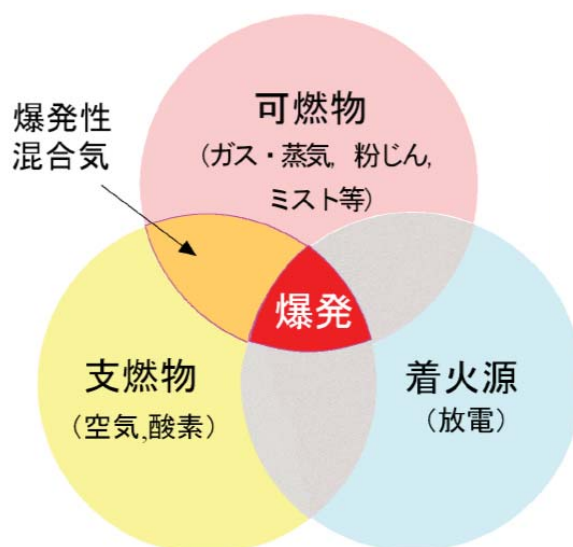


図1 燃焼（爆発）の三要素 （出典：労働安全衛生総合研究所資料）

静電気放電によって着火する代表的なものとして、可燃性ガス、粉じん、引火性液体があげられる。これらが着火するために必要な最小のエネルギーは最少着火エネルギー（MIE: Minimum Ignition Energy）とされ、各可燃物の混合気によって違いがある。

可燃性ガスの場合、燃焼に至るために下限・上限の濃度があり燃焼下限界濃度、燃焼上限界濃度として知られている。標準気圧（101.325kPa）下で空気中の着火特性は、燃焼限界として下限界濃度、上限界濃度がガスの種類ごとに求められている。粉体では、粉体の材質、平均粒径、及び体積中の混合量によって爆発下限がある。引火性液体では、空気中の蒸気濃度が燃焼範囲として下限界濃度、上限界濃度が出されている。これらの特性の一例を表3に示す。実際の現場などでは、着火しやすさは混合気の状態や周囲の温度や湿度などによって差が生じるが、これらの特性は静電気放電による火災への対策を行う上で注意を払うための目安とすることができる。

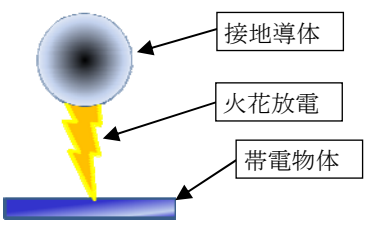
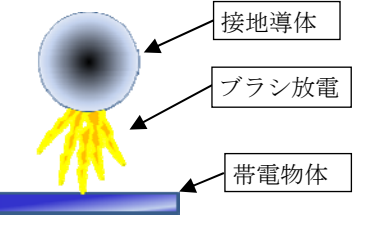
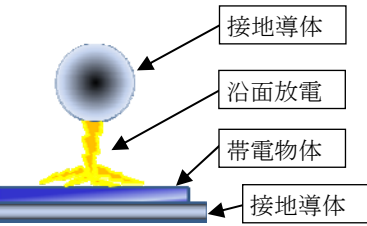
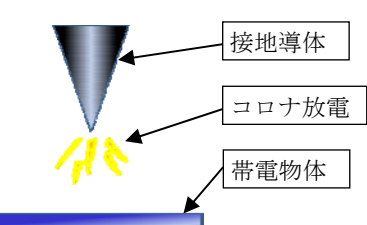
表3 可燃性ガス、粉じん、引火性液体の着火特性の例

可燃物の分類	可燃物	着火特性例（空気中の燃焼範囲）
可燃性ガス	プロパン	下限界：2.1%、上限界：9.5%
	アセチレン	下限界：2.5%、上限界：100%
粉じん	炭じん	平均粒径：60 $\mu$ m、爆発下限：50g/m <sup>3</sup>
	アルミ粉	平均粒径：29 $\mu$ m、爆発下限：30g/m <sup>3</sup>
引火性液体	ガソリン	下限界：1.1%、上限界：7.6%
	灯油	下限界：0.5%、上限界：5.0%
	トルエン	下限界：1.2%、上限界：7.2%

（出典：消防庁消防防災研究講演会資料より抜粋し弊社にて作成）

また、静電気放電は帯電した電荷のエネルギーばかりでなく、帯電している物体の形状や放出先との接近のしかたによって放電のタイプや発生するエネルギーが異なる。工場やプラントなどの産業現場で発生する主な静電気放電のタイプと特徴を下表にまとめる。

表4 主な静電気放電のタイプと特徴

静電気放電のタイプ	放電現象の特徴	放電のイメージ図
火花放電	帯電により電位が上昇した部位から、近づいてきた電位の低い部位（接地導体など）に一発のパルス放電によってほぼ全電荷が放出される現象。 人体や可動物が導体となって発生することが多い。	
ブラシ放電	帯電により電位が上昇した部位から、近づいてきた電位の低い部位の狭いエリアに分散して放電する現象。	
沿面放電	フィルムなどに大量に蓄積された電荷がまとまり、近づいてきた電位の低い部位に一発のパルス放電によって電荷が放出される現象。 帯電物体が接地導体に挟まれた状態で発生することが多い。	
コロナ放電	広い面積に分散して帯電した電荷が、微小なエネルギーのパルス状放電となって連続的に放電する現象。 金属のエッジや先のとがった部分の周囲に帯電した物体が近づいた時に発生することが多い。	

火花放電や沿面放電は放電時のエネルギーが大きく、殆どの可燃性ガス、引火性液体の蒸気、粉じんの着火源となる可能性がある。ブラシ放電は、可燃性ガス、引火性液体の蒸気の着火源となる可能性がある。コロナ放電は放電エネルギーが小さいため、水素、アセチレンなど着火しやすい可燃性ガスの着火源となる可能性があるが、その他の可燃物の着火源となる可能性は低いとされている。静電気放電のエネルギーと可燃物の関係を次ページの図2に示す。

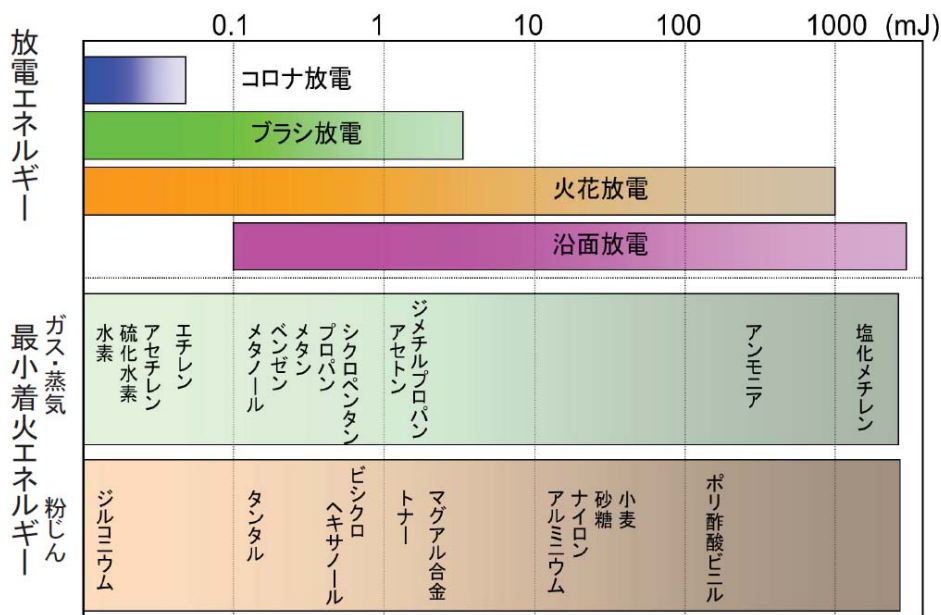


図2 放電エネルギーの範囲と爆発性混合物の最少着火エネルギー (MIE)  
(出典：労働安全衛生総合研究所資料)

### 3. 静電気放電による火災への対策

静電気放電による火災や爆発などの事故を防ぐ対策として、静電気が発生、蓄積しにくい状態を作り維持すること（静電気蓄積防止）と可燃性雰囲気形成防止について検討する。

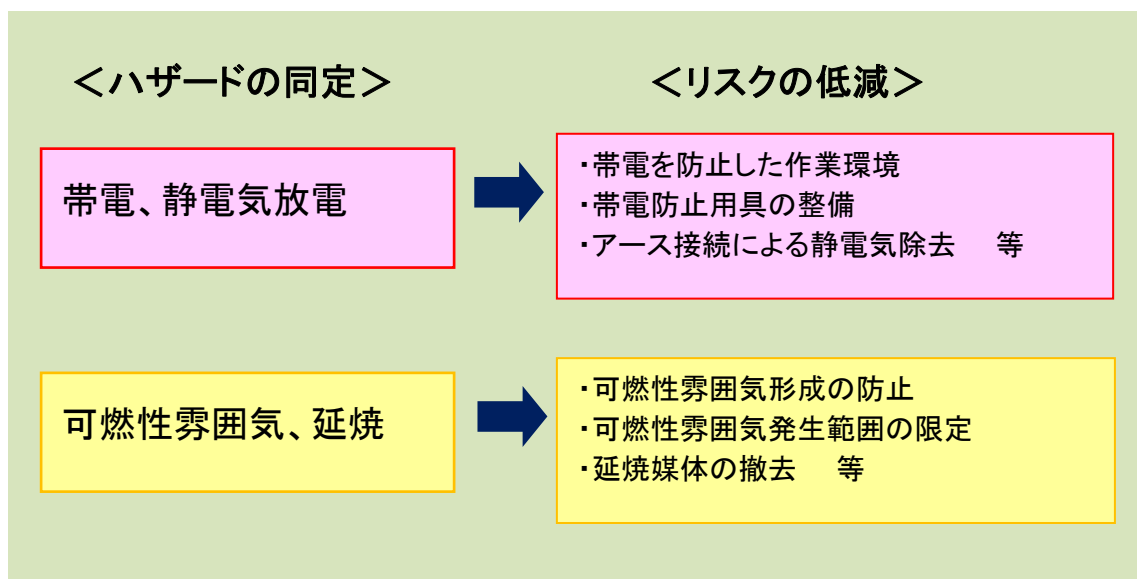


図3 静電気放電による火災対策の分類

### (1) 帯電・静電気放電対策

帯電によって静電気のエネルギーが蓄積されると、それによって発生する静電気放電のエネルギーが大きなものとなり、周囲に可燃性雰囲気があると着火する危険が大きなものとなる。この危険を低減するためには、

- ①帯電しにくい材料を使用する
- ②帯電したものの電荷を放出するためにアース接続を行う
- ③帯電しにくい環境をつくる

ことが重要となる。

静電気放電で発生するエネルギーは、帯電の状態や放電のしかたに左右されるため、そのエネルギー量を制御することは困難である。一方、作業現場の状況に応じて静電気の帯電を防ぎ、リスクの低減を行うことは可能である。前述した静電気の特徴や着火特性などから、静電気放電による着火危険のある可燃性雰囲気が生成され得る場所では、徹底した静電気対策が必要となる。

#### ①帯電しにくい材料

帯電しにくい材料とは、冒頭述べたように抵抗率の低い材料であるが、良導体でなくとも体積抵抗率が  $10^8 \sim 10^{10} \Omega \cdot m$  程度の抵抗率であれば帯電しにくいとされている。また、材料の表面を帯電しにくいように加工することで静電気対策を行うことができる。静電気を嫌う電子部品などを扱うプラスチック容器では塗布型帯電防止剤が使用されているものがある。また、プラスチック材料に導電性のカーボンなどを練り込んで、プラスチック材料そのものの電気特性を調整する対策も行われている。

#### ②アース接続

アース接続（接地）とは、帯電した物体の電荷を地中に放散させるために、大地と良導電体で接続することをいう。アース接続により帯電された状態が短時間で中和され、静電気放電の防止に有効である。①で述べた帯電しにくい材料であっても、周囲から絶縁されている状態であると帯電して静電気放電が発生する可能性が出てくるので、アース接続によって速やかに電荷を放出させることが必要となる。

#### ③帯電しにくい環境

湿度管理によって材料などの表面抵抗の上昇を防止できる。一般的に、湿度が40%以下になると静電気が発生しやすくなるといわれており、静電気が発生しやすい工程や引火点が低い引火性液体を使用している場所では湿度が50%以上となるように管理することが望ましい。湿度の管理には、加湿器や加湿機能の付いた空調機が使用されるが、室内の湿度は換気や室温の変化によって変動するため、常時室内の湿度を監視することが必要となる。また、作業を開始する時には湿度が安定して管理レベルに到達していなければならないため、作業開始前に湿度調節器を作動させることが必要である。

#### ④作業における静電気発生対策

作業者が作業を行う場合、衣服や靴あるいは作業を行う椅子や机の摩擦や分離によって静電気が発生する可能性がある。また、作業者の体や衣服等が帯電していた場合、そのまま作業場に入り込むと静電気の放出源となる。作業者に対する静電気対策は、業種や作業環境などによってさまざまである。主な対策の項目と概要を表5にまとめる。

表5 作業における静電気対策例

分類	項目	対策の例
作業者	入室管理	静電気除去パッド、静電気チェッカー
	作業中	リストストラップ
衣類	作業服	帯電防止作業服
	靴	静電気帯電防止安全靴
作業場所	床	静電気防止加工を行ったタイルやシート
	作業台	静電気対策作業表面マット
	椅子	接地コード付き椅子
作業	物品	導電性/静電気対策済み用品 (紙、ファイル、ごみ箱、用具入れ、包装材 等)

## (2) 可燃性雰囲気形成防止

静電気放電によって着火する代表的なものとして、可燃性ガス、粉じん、引火性液体をあげた。

これらの物質は、燃焼下限濃度を超えないように管理することによって着火を防ぐことができる。そのためには、本来取り扱われる場所・系の外に漏出しないよう対策しておくこと、作業を行う場所の局所排気や室内の換気を行うことが必要である。また、可燃性ガスや引火性液体が意図しない場所に漏えいした場合に備えて漏えい検知器を設置することが重要となる。

漏えい検知策を検討する場合には、ガスの比重が空気よりも重いか軽いかで対策に違いが生じてくる。空気よりも重いガスの場合には、排気設備の吸気口や検知器は床に近い低い場所に設置し、軽い場合には高い場所に設置する。一般的に引火性液体の蒸気の比重は空気よりも重いいため、作業台や室内の低い場所に設置する方が効率は良くなる。この考え方は、局所排気・集じんするにおいても同様である。

この他、各物質に特徴的な事項を下記に述べる。

### ①可燃性ガス

屋内で大量にガスを扱うボイラーや加熱炉等の場合には、漏えい検知器と連動して作動する緊急遮断弁の設置が必要と考えられる。また、可燃性ガスの比重が空気よりも軽い場合、ガスが空気中に拡散しやすいので、設備の上部にフードを設置するなどの対策が望まれる。

### ②粉体

集じん機を用いて粉じんの可燃性雰囲気が形成されないようにすることや、集じん機内で可燃性雰囲気が形成される危険が高くなるため、設備のアース接続などの安全対策が必要となる。また、粉じんは堆積した状態で燃えやすいものであることが多い。着火後に延焼被害を防ぐため

に、不要な場所に堆積した粉体は清掃などによって除去することも重要な対策となる。

### ③引火性液体

引火性液体が漏えいすると、蒸気となって室内に滞留し出火危険が大きくなる。引火性液体を保管庫などに保管する場合、容器の破損などで保管庫の外に漏えいが広がると着火危険が高くなる。保管庫内に漏えい防止用の受け皿を設置して保管することが望まれる。

#### 4. 静電気放電による火災事例と対策

静電気放電に起因すると考えられる火災事故あるいは静電気放電が原因であることが疑わしい事故は多数発生している。近年発生した事故事例を以下に示す。

##### (1) 可燃性ガス取扱いにおける火災事例

###### ①事故事例

プラスチック発泡製品や強化プラスチック製品を製造する工場で、食品容器を製造するラインで火災が発生した。出火原因は、製品材料となるPSP（発泡スチロールシート）原反をフォークリフトで移動させる際に、製品材料を梱包していたビニール袋内に残存していた可燃性の炭化水素ガスが静電気により引火したものと考えられている。静電気は、発泡スチロールシートやビニール袋の摩擦によって発生したものと考えられる。火災は、周囲にあった製品・半製品や生産設備などに延焼し、工場建物および周辺の製品倉庫などが被害をうけた。

###### ②火災の原因

PSPは、原料となるポリスチレンをブタンやペンタンなどの炭化水素ガスで発泡させて製造されるが、梱包に使用したビニール袋内にこれらの可燃性ガスが少量残っていた。可燃性ガスは、静電気によって引火しやすいことと、引火後、周囲に燃えやすい材料があったために急速に燃え広がり、消火器による初期消火が困難な状態となった。ビニール袋で梱包された製品をフォークリフトで移動させる作業は静電気対策が困難であったことと、少量であっても着火しやすい状態で可燃性ガスがビニール袋に残っていたことが重なって火災が発生した。

###### ③対策

帯電しやすい製品材料を取り扱う場合、製品材料を梱包する袋などは帯電防止の材料を使用し、作業を行う場所の床も帯電防止された床材または表面仕上げとする。

フォークリフトの製品と接触するフォークから除電が行えるように、フォークと導通が取れる部分に空中に放電を行う設備を設置する。

製品材料の生産工程を調査し、可燃性ガス混入の危険性が無いかアセスメントを実施する。梱包内に可燃性ガス混入の危険性がある場合には、包装を行う際に梱包内の不活性ガスによる置換を行う。

##### (2) 危険物（引火性液体）に関する火災事例

###### ①事故事例

紙加工工場のグラビアコーターの溶剤を回収するバット付近から出火し、グラビアコーター、乾燥設備および建物が焼損し、周辺に設置されていたリバースコーターなどの設備が煙や消火活動による損害を受けた。設備周辺に滞留した溶剤の蒸気が静電気で見火し、火災に至ったと考えられている。

設備内で紙や溶剤を使用しており、ローラーによる紙の搬送を行っていたため、短時間で広い範囲に燃え広がったため、初期消火活動を行うことができなかった。



## ②火災の原因

溶剤を使用しているグラビアコーターは、設備周辺の溶剤蒸気を排気するためにダクトが設置されていたが、設備の下方に設置されていた溶剤回収用のバット周辺の排気が十分に行われていなかったことが推測される。また、室内の換気が行われていたが設備周辺に設置されていた他の設備や什器などによって溶剤の蒸気が滞留しやすい状態であったことが考えられる。

静電気放電が発生した原因としては、設備はアース接続されていたが周囲に溶剤の蒸気が広がらないように取り付けられていたビニール製のカーテンやカバーフィルムなどの静電気対策が十分でなかったことが考えられている。

## ③対策

溶剤を使用する設備の周辺に溶剤の蒸気が滞留しないように、ダクトを設置する。また、室内の換気を十分に行うと同時に一定の湿度が保たれるように、加湿器、空調機等を設置する。

設備のアース接続を行い、作業場所の床は帯電防止された床材または表面仕上げとする。引火点の低い溶剤を使用する場合には、作業場所周辺を防爆構造とする。

帯電防止されたビニール製品などは、長期使用による劣化やインキの付着によって帯電防止の性能が落ちる可能性があるため、長期間使用し汚れたものは交換する。

## 5. まとめ

静電気放電が原因となって発生する火災は、事例に示したように思いもかけない事象が重なり偶発的に発生することが多い。着火には、可燃性ガス、紛体、引火性液体などの可燃物が空気などと混じり合った混合気が存在することが必要で、燃焼に至るには混合気中の濃度などの条件が必要である。また、着火するためには一定以上の静電気放電のエネルギーが必要であり、これらの条件が揃うことで静電気放電による火災が発生する。可燃性ガス、紛体、引火性液体が使用されている作業環境では、火災が短時間に延焼し、大きな被害に至ることが想定される。静電気放電による火災への対策を行うことは損害を防ぐために重要なテーマであるといえる。ここで述べた静電気放電の特徴、対策事例、火災事例を参考にいただき、火災の発生防止に役立てていただければ幸いである。

以上

リスクマネジメント第一部 リスクエンジニアリンググループ  
マネジャー上席コンサルタント 服部 誠  
上席テクニカルアドバイザー 森山 好文

## &lt;参考文献&gt;

- (1) 厚生労働省 職場のあんぜんサイト 静電気  
[http://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo76\\_1.html](http://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo76_1.html)
- (2) 労働安全衛生総合研究所 特別研究報告 (2007～)  
<https://www.jniosh.go.jp/publication/srr.html#srr47-2>
- (3) インターリスクレポート 中国風険消息<中国関連リスク情報><2014 No.5>  
粉塵爆発の発生原因と防止策について
- (4) 消防庁 第18回消防防災研究講演会資料  
火災原因調査への取り組みと調査技術の高度化

MS&ADインターリスク総研株式会社は、MS&ADインシュアランスグループのリスク関連サービス事業会社として、リスクマネジメントに関するコンサルティングおよび広範な分野での調査研究を行っています。

災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しております。コンサルティングに関するお問い合わせ・お申込み等は、下記の弊社お問合せ先、またはあいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

## お問い合わせ先

MS&ADインターリスク総研株式会社  
リスクマネジメント第一部 リスクエンジニアリンググループ  
千代田区神田淡路町2-105 TEL:03-5296-8947/FAX:03-5296-8942  
<https://www.irric.co.jp/>

## &lt;災害リスクコンサルティングメニュー&gt;

- ① 事業所の火災・爆発・風水災等のリスクを調査し、防災対策を検討したい。  
⇒リスクサーベイ (リスク調査・評価)  
専門エンジニアによる実地調査を行い、リスク状況と改善提案の報告書を作成します。  
防火管理規定の策定と運用の支援をいたします。
- ② 危険物施設 (タンク・プラント設備) の火災・爆発を想定した防災対策を検討したい。  
⇒輻射熱計算・消火戦術シミュレーション  
コンピュータシミュレーションにより火災の延焼範囲や消火設備の有効性検証を行います。
- ③ 有毒物質や可燃性物質の漏えい・拡散範囲について分析し、構内外への影響を検証したい。  
⇒化学物質の漏えい拡散シミュレーション  
コンピュータシミュレーションにより化学物質の漏えい範囲を想定し、防災対策検討の資料とすることができます。

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。  
また、本誌は、読者の方々に対して企業のRM活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

不許複製/Copyright MS&ADインターリスク総研 2018